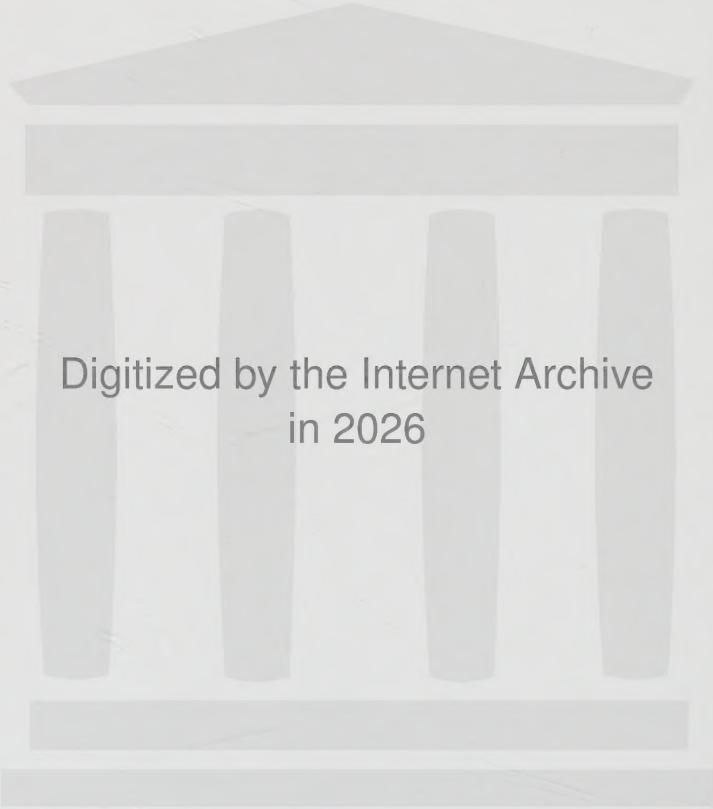


ABBINDEEXPANSION UND THERMISCHE EXPANSION
EINIGER GIPSFREIER EINBETTMASSEN FÜR HOCHSCHMELZENDE
EDELMETALLEGIERUNGEN

von

HANS-MICHAEL STEGMAYER

1971



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554425_0079

Aus der Prothetischen Abteilung
(Leitung: Professor Dr.F. Jung)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
(Direktor: Professor Dr.F. Jung)

ABBINDEEXPANSION UND THERMISCHE EXPANSION EINIGER
GIPSFREIER EINBETTMASSEN FÜR HOCHSCHMELZENDE
EDELMETALLEGIERUNGEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz

vorgelegt von
Hans-Michael Stegmayer
aus Bad Kreuznach

Mainz 1970

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Februar 1971

Dekan: Professor Dr. Schölmerich
Referent: Professor Dr. Marx
Korreferent: Professor Dr. Jung



gesamtherstellung
ditters bürodienst
mainz



MEINEN ELTERN

IN DANKBARKEIT

GEWIDMET

Inhaltsverzeichnis

- I. 1. Einleitung
- 2. Die Bedeutung des Volumenverhaltens der
 beim zahnärztlichen Goldguß beteiligten
 Materialien für das Gußergebnis
- 3. Problemstellung der vorliegenden Arbeit

- II. Versuchsordnung und Versuchsdurchführung
- 1. Messung der Abbinde- oder Kaltexpansion
- 2. Messung der thermischen Expansion

- III. Statistische Auswertung der Meßergebnisse
- 1. Statistische Methode
- 2. Versuchsergebnisse der Abbindeexpansion
- 3. Versuchsergebnisse der thermischen
 Expansion

- IV. Zusammenfassung

- V. Literaturverzeichnis

I. 1. Einleitung

Die Entwicklung der modernen zahnärztlichen Gußtechnik lag um das Jahr 1900. Als einer der ersten veröffentlichte der Breslauer Zahnarzt Dr.OLLENDORF (19) in der Deutschen Monatsschrift für Zahnheilkunde seine Gedanken in dem Artikel "Neue Methode der Herstellung von Zahnersatzstücken". Dadurch boten sich plötzliche viele Behandlungsmöglichkeiten, besonders für die konservierende Zahnheilkunde und die Prothetik. Doch in der Praxis stellte sich heraus, daß die Gußergebnisse keineswegs den Anforderungen entsprachen, die bezüglich der Verwendbarkeit im Munde gefordert werden müssen. Die Schwierigkeiten liegen in den mannigfaltigen Fehlerquellen, die bei der Herstellung der Wachsmodelle beginnen und im Gußvorgang enden (ILG,18). BONSACK (2) stellte die Fehlerquellen zahlenmäßig zusammen. und fand deren über 60. Eine der Hauptschwierigkeiten war dabei die Goldschrumpfung beim Übergang vom heiß-flüssigen zum heiß-festen und vom heiß-festen in den auf Zimmertemperatur abgekühlten Zustand. Die erste Schwindungsphase war nicht so bedeutend, da das flüssige Metall aus einem Schmelzreservoir nachfließen kann. Schwieriger war die Beherrschung der sog. festen Schwindung. Man konzentrierte sich von Beginn an auf die Einbettmassen und versuchte zu erreichen, daß durch die Erhitzung

vor dem Guß die Hohlform größer wird. Schon 1930 befaßte sich DJIE SIANG HAN (15) mit den beiden Expansionsformen der Einbettmassen, der Abbinde- oder Kaltexpansion und der thermischen Expansion. Drei Jahre später wiesen SWEENEY (35) und OEHRLEIN (24) auf die besondere Bedeutung des Siliciums für die Expansion hin, wobei sie besonders die Modifikation Cristobalit untersuchten. Das Ziel war der Präzisionsguß. Die Anforderungen, die an das Ergebnis gestellt werden müssen, faßt DREYER-JÖRGENSEN (5) in der Definition der "klinischen Präzision" zusammen: "Zwischen Zahn und Gußstück darf kein sichtbarer oder mit der Sonde fühlbarer Spalt sein, und das Gußobjekt muß ohne Druck eingefügt werden können, sei es Krone oder Inlay".

I. 2. Die Bedeutung des Volumenverhaltens der beim zahnärztlichen Goldguß beteiligten Materialien für das Gußergebnis

Zur Problematik der Herstellung von zahnärztlichen Gußobjekten hat V. K. ILG in seinen Arbeiten 1959 und 1961 (18) die grundlegenden Vorgänge und Gedanken zusammengestellt. Er teilte drei Gruppen von Vorgängen ein, die bis zur Fertigstellung eines zahnärztlichen Gußobjektes durchlaufen werden müssen (sog. "Indirekte Technik"). Hierbei wird im Gegensatz zur direkten Technik, bei der das Gußmodell im Munde des Patienten gewonnen wird, noch der Arbeitsgang der Abdrucknahme und der Herstellung des Modells im Labor vor der Gewinnung des Gußmodells ablaufen müssen. Dabei wird die Zahl der möglichen Fehlerquellen erhöht, und die Forderung, möglichst genau zu arbeiten, erhält noch größere Bedeutung für die am Ende geforderte Paßgenauigkeit. Durch diesen komplizierten Herstellungsgang wird die Paßgenauigkeit neben der präzisen Arbeit wesentlich von den Materialien bestimmt, die an den einzelnen Arbeitsgängen beteiligt sind. Bei der direkten Technik sind das der Modellierwerkstoff, die Einbettmasse und das Edelmetall.

Jede Metallegierung erleidet beim Guß zwei Formen der Volumenschwindung. Die erste Schwindung liegt zwischen dem flüssig-heißen und fest-heißen Zustand. Dieser Schwindungsform ist man durch das Schmelzreservoir des sog. "verlorenen Kopfes" begegnet. Fehler, die in dieser Gußphase auftreten, wirken sich nicht auf die Größe der Hohlform aus, sondern erscheinen im allgemeinen in Form von kleinen Hohlräumen, den sog. Lunkern. Die Fehlermöglichkeiten sind hier recht vielfältig. So hat zum Beispiel R. VOSS (37) Einflüsse, die durch die Form des Gußkanals hervorgerufen werden, beschrieben, und H. MARX (21) untersuchte die Auswirkungen bei Anwendung verschiedener technischer Gußverfahren.

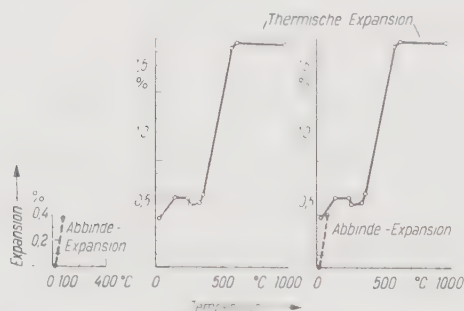
Die zweite Form der Schwindung läuft bei der Abkühlung vom fest-heißen Zustand bis zur Zimmertemperatur ab. Die Größe dieser Schwindung ist u. a. von FALCK-WEIKART (8), HERING (16), WAGNER (38), OESCHGER (25), TAEGER (36), ILG (17), COSMAN (3+4), GAUSCH (10), SCHEU (30), RITZE (29), SCHUBERT (33) und KLODE (34) untersucht worden. Die angegebenen Werte schwanken zwischen 1,15 % lin. bis 2,0 % lin.

In der gleichen Weise unterliegt auch das Wachs einem Schwindungsvorgang vom warm-plastischen zum festen Zustand bei Zimmertemperatur. Die Werte, die u. a. von NARCISSE (22), DREYER-JÖRGENSEN (5), BEECK (1), HERING (16), REHBERG (27) und GAUSCH (10) angegeben werden, liegen zwischen 0,46 % lin. und 1,0 % lin. Aber auch die anstelle von Wachs gebräuchlichen Autopolymerisate unterliegen einer Kontraktion (GUDDAT (14), OCHMANN (23), STAEGEMANN (32)). Genaue Zahlenangaben macht keiner der drei Autoren.

Aus diesen Erkenntnissen heraus ergibt sich die Notwendigkeit, eine Hohlform zu schaffen, die nach HERING (16) im Augenblick des Gusses gegenüber der Ausgangsform gleichmäßig um 1,75 % lin. bis 2,3 % lin. vergrößert ist. Dieses Ziel versuchte man zunächst durch die Wachsexpansionsmethode zu erreichen. (GERLACH (12), OETTINGER (26), SCHEU (31)). Dieser Methode lag der Gedanke zugrunde, daß das WachsmodeLL sich noch vor dem Einbetten durch Zuführen von Wärme ausdehnen soll. Es wurde zu diesem Zweck in 25° C bis 35° C warmes Wasser eingetaucht. Doch es stellte sich heraus, daß diese Ausdehnung nicht gleichmäßig war, sondern zu Verzerrungen und Deformierungen des

Wachsmodells führte. Daraufhin wurde diese Methode wieder verlassen, und man richtete die Bemühungen besonders auf die Einbettmassen, deren Expansionsvermögen dafür ausgenützt wird, die Materialkontraktionen auszugleichen.

Die Expansion der heutigen Einbettmassen setzt sich aus zwei Komponenten zusammen, die zur Gesamtexpansion addiert werden.



Grafische Darstellung der Abbinde- und thermischen Expansion (HERBST).

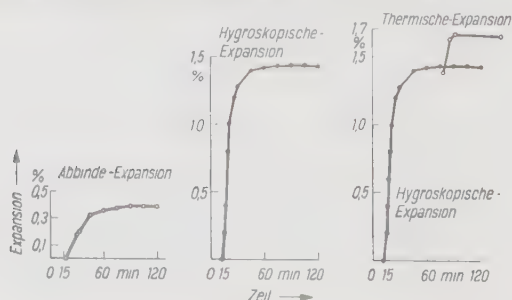


ABB. 1 Zusammenhang zwischen thermischer Expansion, hygroskopischer Expansion und Abbindeexpansion (nach H. RITZE)

Die eine Komponente ist die Abbindeexpansion oder auch Kaltexpansion, die andere Komponente ist die thermische Expansion. Im Laufe der Entwicklung des Gußverfahrens hat man den Expansionsformen verschiedene Bedeutung zugemessen. So hat SCHEU (31) die Abbindeexpansion zu vergrößern versucht, indem er die Muffel während der Abbindezeit in $36^{\circ} - 40^{\circ} \text{C}$ warmes Wasser stellte (sog. hygroskopische Expansion). Außerdem sollte durch die Wassertemperatur das Wachs expandieren und, da es weicher wird, eine Deformation vermieden werden. Das gleiche Ziel der erhöhten Abbindeexpansion verfolgte auch LYON (20), indem er dem Einbettmassegemisch Sulfate zusetzte. Ein weiterer Vorteil der hygroskopischen Expansion liegt darin, daß die Gußform nicht so stark erhitzt zu werden braucht, da ja die thermische Expansion nicht mehr so stark sein muß. Die niedrige Gußtemperatur ergibt nebenbei auch ein feinkörnigeres Metallgefüge und eine glattere Oberfläche.

Doch einer verstärkten Abbindeexpansion stehen M. und O. COSMAN (3) und GERLACH (12) sehr skeptisch gegenüber. Sie fanden, daß die Abbindeexpansion in ihrer Größe und in ihrer Expansions-symmetrie zu starken Schwankungen unterliegt, um eine genaue reproduzierbare Gußpräzision zu erzielen. Außerdem würde das WachsmodeLL, besonders bei

MOD-Inlays und Kronenringen, zu stark verzerrt. Aus dem gleichen Grunde war auch schon die Wachsexpansionsmethode - wie vorher schon erwähnt - bereits wieder verlassen worden.

Über die Bedeutung der thermischen Expansion herrscht in der Literatur größere Übereinstimmung. Im Gegensatz zur Kaltexpansion, deren Werte nicht reproduzierbar sind und nach DREYER-JÖRGENSEN (5) nur als relative Werte anzusehen sind, da sie von der Meßmethode und der Verarbeitung abhängen, sind die Meßergebnisse der thermischen Expansion reproduzierbar und auch unabhängig von der Meßmethode. Diese Expansionsform beruht auf den thermischen Eigenschaften des Bindemittels und der feuerfesten Bestandteile. Die Hauptkomponente der feuerfesten Anteile ist das Siliciumdioxyd (Si O_2) oder Quarz. Er liegt in drei verschiedenen Modifikationen vor. Der Unterschied beruht dabei nur auf der Kristallstruktur und nicht auf dem chemischen Verhalten. Der Quarz lagert sich beim Erhitzen in die verschiedenen Modifikationen um. Nach GMELIN (13) entsteht aus dem α -Quarz bei 573°C der β -Quarz, der sich bei 870°C zum Tridymit und bei 1470°C zum Cristobalit umlagert (OESCHGER (25)). Diese Umlagerungsprozesse sind mit einer Volumenvergrößerung

des Kristalls verbunden. Sie betragen vom α - zum β -Quarz ungefähr 0,86 %, zum Tridymit 0,15 % und zum Cristobalit ~ 2 % (n. GMELIN). Diese Modifikationen sind in sich stabil und haben bei Erhitzung ganz verschiedene Ausdehnungskurven.

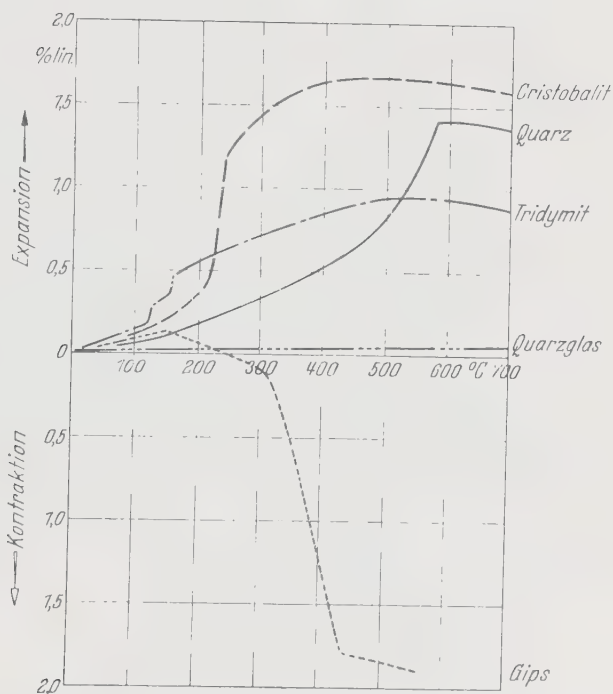


ABB. 2 Das Volumenverhalten der einzelnen Quarzmodifikationen und des Gipses bei Erhitzung bis auf 700 °C, graphisch dargestellt durch die dabei auftretenden prozentualen linearen Veränderungen (n. HERING)

Für den zahnärztlichen Guß ist aber auch die Abkühlungskurve von Bedeutung, da zwischen der Beendigung der Aufheizzeit und dem Guß selbst noch etwa höchstens zwei Minuten verstreichen, die sog. Gußverzugszeit. In dieser Zeit kontrahiert die erhitzte Masse. ENDELL und HOFMANN (7) äußern in ihrer Arbeit, daß die Abkühlungskurven "ziemlich spiegelbildlich zu den Erhitzungskurven" verlaufen. Dagegen stellte G. GEHRE (11) 1965 fest, daß bei Abkühlung von 800°C auf 700°C eine Kontraktion von 0,15 % lin. auftritt. Demzufolge fällt die Abkühlungskurve steiler ab als die Expansionskurve ansteigt. Außerdem ist der Kontraktionsverlust (n. GEHRE) bei der beginnenden Abkühlung um so geringer je höher die Aufheiztemperatur war. Daraus ergibt sich erstens die Notwendigkeit, eine möglichst große thermische Expansion zu erreichen, da diese gleichmäßiger ist als die Kaltexpansion und zweitens, vom Ende der Aufheizzeit bis zum Guß möglichst schnell zu arbeiten.

I. 3. Problemstellung

Die für den Goldguß bisher benutzten Einbettmassen enthielten als Bindemittel Gips. In der neueren Zeit entwickelte man die Technik der Porzellan-Goldaufbrennkeramik, die aber sehr hohe Arbeitstemperaturen notwendig machte. Dafür waren aber die Einbettmassen nicht geeignet, weil der Gips bei ca. 700 ° C anfängt, sich zu zersetzen (TAEGE (36)). Die Einbettmasse wird weich und zerbröckelt. Außerdem schädigt der freiwerdende Schwefel das Gußmetall (REINMACHER und WAGNER (28)). Man hat deshalb neue Einbettmassen entwickelt, bei denen ein Kieselsäure-sol die Bindefunktion übernimmt. In der vorliegenden Arbeit wird die Größe der Abbindeexpansion und der thermischen Expansion solcher Einbettmassen bestimmt. Untersucht wurden folgende Einbettmassen:

1. AUROVEST (Bremer Goldschlägerei Herbst)
2. DEGUVEST HFG (Degussa)
3. CERAMIGOLD INVESTMENT (Whip-Mix Corporation)

Mit den Massen wird jeweils eine Flüssigkeit mitgeliefert, die bei Aurovest 50 %ig, bei Deguvest HFG 75 %ig und bei Ceramigold Investment 100 %ig verwendet werden soll.

II. Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

1. Messung der Abbinde- oder Kaltexpansion

Zur Bestimmung der Abbindeexpansion werden in der Literatur mehrere Meßmethoden angegeben. So füllte GYSI (zit. n. 9) Gips in Glasgefäße und beurteilte die Ausdehnung an der Weite der Sprünge. GERLACH (12) benutzte zur Messung eine Gummiblaste, die mit einer Kapillare verbunden war. Wenn der Gips expandierte, sank der Flüssigkeitsspiegel in der Kapillare, bei Kontraktion dagegen stieg er an. Ein anderes Verfahren beruht auf einer Meßmethode, bei der gegossene Stäbe in eine Apparatur eingesetzt wurden, sobald sie genügend erhärtet waren (Dilatometer). Dabei kann aber nicht die Expansion bzw. die Längenänderung des Stabes während der ersten Phase der Abbindeung vor dem Erhärten registriert werden. DREYER-JÖRGENSEN (zit. n. 39) entwickelte ein Gerät, das diesen Nachteil nicht hatte. Ein senkrecht stehender Papierzylinder, mit Gips gefüllt, wird oben mit einem kleinen Messingplättchen abgedeckt. Auf diesem ruht der Taster einer Meßuhr, die sich senkrecht über dem Papierzylinder befindet. In der gleichen Arbeit wird auf eine Ansicht von DREYER-JÖRGENSEN verwiesen, die besagt, daß es keine Methode gibt, die absolute Meßergebnisse der Abbindeexpansion ergibt.

Bei den eigenen Versuchen wurde das Quellungsmeßgerät für Gips von der Firma Curt Weissgerber, Frankfurt (Main), benutzt. Dieses Gerät eignet sich dazu, die in einer Form befindliche Masse beim Erhärten auf ihre Ausdehnung zu untersuchen.

An einer Meßuhr läßt sich das Ergebnis während des Versuchs ablesen.

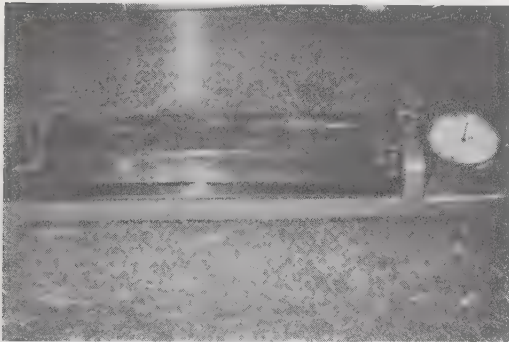


ABB. 3 Quellungsmeßgerät der Firma
Curt Weissgerber, Frankfurt/Main

Das Meßgerät umfaßt:

1. Eine gußeiserne Unterplatte, die an der einen Stirnseite die beiden Festpunkte für die den Einbettmassebrei aufnehmende Form und auf der anderen Seite einen Quersteg trägt. In diesem

Quersteg ist in der Mitte die Meßuhr gelagert; außerdem befinden sich in dem Quersteg zwei Rändelschrauben, die bei der Vorbereitung des Versuches zum Zusammenhalten der Form dienen.

2. Die zur Aufnahme des Einbettmassebreies dienende vierteilige Aluminiumform, die unter Zwischenfügung einer Spiegelglasplatte auf der gußeisernen Unterplatte Aufnahme findet und in die eine Schaumgummiplatte eingelegt wird.

Die Formenteile wurden mit Öl leicht eingefettet, um eine gute Beweglichkeit der Formteile untereinander und auf der Glasplatte während des Quellvorganges zu gewährleisten.

Die lichten Maße der Form sind 40 x 40 x 333,3 mm. In die Form wird eine Schaumgummiplatte von 333 x 120 mm so eingelegt, daß der Gipsbrei nur die beiden Stirnseiten der Form dicht berührt, im übrigen aber von der durch die Schaumgummiplatte gebildeten Wanne bis zur Höhe der Aluminiumform aufgenommen wird; die Schaumgummiplatte ragt also an beiden Längsseiten um etwa 10 mm über Form und Einbettmassebrei hinaus.

Der durch die Schaumgummiplatte gebildete Wannenquerschnitt ist für den Meßvorgang ohne Belang.

Wesentlich für die Messung der auftretenden Quellung ist die durch die Innenkante der Aluminiumform gegebene Länge, die mit 333,3 mm bemessen ist. Der Grund für die Wahl dieses Längenmaßes der Form im Lichten ist folgender:

Das Quellmaß wird angegeben in mm je Meter. Bei dem vorgenannten lichten Längsmaß ergibt dann die an der Maßuhr abgelesene Längenänderung multipliziert mit dem Faktor 3 das gesuchte Quellmaß in mm je Meter. Bei der Versuchsausführung geht man folgendermaßen vor:

Im Vorversuch wird zunächst die Einstreumenge festgestellt und daraus das zur Füllung der Form benötigte Einbettmassevolumen ermittelt. Die Pulvermenge der Einbettmassen betrug bei allen Versuchen 500 g. Diese Pulvermenge wurde innerhalb von 30 sec in die vorbereitete Flüssigkeit eingestreut und 15 sec lang mit der Hand umgerührt. Dies ist nötig, da alle drei Hersteller die Benutzung eines Vakuumanrührgerätes empfehlen, und ohne vorheriges Umrühren würde die Vakuumpumpe das Pulver absaugen.

Benutzt wurde das Vakuumanrührgerät der Firma Degussa (Abb. 4). Die automatische Anrührzeit entsprach den Angaben der Hersteller. Sie betrug bei DEGUVEST 45 sec, bei CERAMIGOLD 50 sec und bei AUROVEST 120 sec. Nach dem Anrühren wurde der Einbettmassebrei innerhalb von 30 sec in die Form eingerüttelt. Die zwei Rändelschrauben, die die Form zusammenhielten, wurden in den Quersteg zurückgeschraubt und die Meßuhr auf 0 nachgestellt. Auch dieser Arbeitsgang wurde in 30 sec ausgeführt. Die Messung begann also 150 sec zuzüglich der automatischen Anrührzeit der jeweiligen Masse, nachdem das Pulver mit der Flüssigkeit zusammenkam.

Der Zeitpunkt des Dehnungsbeginns wurde - in Minuten gemessen - notiert. Ebenso wurde die Größe der Dehnung - die Meßuhr arbeitete auf 1/100 mm genau - im jeweiligen Zeitpunkt notiert. Gleichzeitig wurde ein Thermometer abgelesen, das in die noch weiche Einbettmasse hineingesteckt worden war. Die Thermometerskala maß von 0 ° C bis 100 ° C in 2°C-Schritten. Durch Multiplikation des mit der Meßuhr ermittelten Wertes mit dem Faktor 3 ergab sich die Abbindeexpansion

der Einbettmasse in mm/m oder die lineare prozentuale Abbindeexpansion (% lin.) der jeweiligen Einbettmasse.

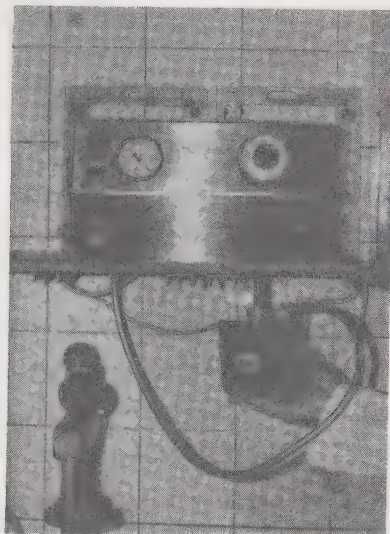


ABB. 4 Multivac-Vakuumanrührgerät
der Firma Degussa

Das Anmischverhältnis und das Verdünnungsverhältnis der angelieferten Flüssigkeiten wurden nach den Angaben der Hersteller gewählt und betrugen für die verschiedenen Einbettmassen:

Einbettmasse	Flüssigkeit (Verdünnung)	Pulver (g)	Flüssigkeit (ccm)
Deguvest HFG	75 %	60	8,5
Aurovest	50 %	100	17,0
Ceramigold	100 %	100	14,0

Die benötigten Pulvermengen wurden mit einer Briefwaage abgewogen. Die Verdünnungen der Flüssigkeiten wurden mit 21 ° C warmen Wasser (destilliert) durchgeführt. Dabei wurde ein Standglas benutzt, das auf 0,5 ccm genau abgelesen werden konnte. Mit dem gleichen Glas wurde auch die benötigte Menge an verdünnter Gebrauchslösung abgemessen.

2. Messung der thermischen Expansion

Zur exakten Messung der thermischen Expansion werden in der Literatur verschiedene Apparaturen beschrieben, die sich prinzipiell in einem wesentlichen Punkte unterscheiden. Bei der von ENDELL und HOFMANN (7) beschriebenen Apparatur werden die Enden des Probekörpers mittels eines Komparators durch zwei Meßmikroskope beobachtet. Auf dem gleichen Prinzip hat auch V. K. ILG (18) seine Apparatur aufgebaut. Er steckte den Probe-

körper waagerecht durch ein Loch in einen Ofen; in Verlängerung des Probestabes brachte er einen Zeiger an, dessen Ausschlag unter einem Meßmikroskop beobachtet wurde.

Die zweite Art der Apparaturen bezeichnet man als Anlegedilatometer. Hierbei dehnt sich der Probekörper gegen einen definierten Meßdruck aus. Über einen Hebelmechanismus können dann die Längenänderungen registriert werden. Das gleiche Bauprinzip liegt dem Gerät, das zu den vorliegenden Messungen verwendet wurde, zugrunde.

Es handelt sich um das UNIVERSAL-DILATOMETER Modell UBD der Firma Ernst Leitz GmbH Wetzlar.



ABB. 5 Gesamtansicht des Universal-Dilatometers (Ernst Leitz GmbH)

Das Gerät kann als Differenz-Dilatometer benutzt werden, wobei ein Probekörper bekannter Ausdehnung die waagerechte Bewegung des Lichtzeigers bewirkt und der unbekannte Prüfling die senkrechte Bewegung. Bei gleicher Länge und gleicher Ausdehnung beider Körper würde das Ergebnis eine Gerade in 45° zur Waagerechten sein. Da aber kein Vergleichskörper passender Ausdehnung vorhanden war, wurde das Gerät umgebaut. Anstelle der Vergleichsprobe wurde der Steuerkopf fixiert, und ein Thermoelement übernahm die Führung des Lichtzeigers in der Waagerechten. Es wurde an ein Spiegelgalvanometer angeschlossen, dessen Spiegel sich im Strahlengang des Zeigers befand. Durch diese Umbaumaßnahme registriert das Gerät eine Ausdehnungskurve in Abhängigkeit von der Temperatur. Der Meßdruck des Gerätes ist veränderbar. Er betrug jedoch bei allen Messungen 10 g.

Das Gerät besteht aus einem Fuß, an dem nach links das Kameragehäuse befestigt ist. Von rechts ist am Fuß ein Träger angeschraubt, auf dessen Schienen der Ofenwagen bewegt werden kann. Der Ofen ist in Form einer waagerecht angeordneten Röhre konstruiert und kann mit einem Gewinderring

an den in der Mitte des Gerätes befindlichen Steuerkopf angeschraubt werden. Die Verbindungsteile sind zweiwandig gebaut, damit sie durch Wasser während der Versuchsdauer gekühlt werden können. Während des Versuches sind die Verbindungsteile durch Schläuche verbunden und werden von einem Wasserhahn aus fortwährend durchspült. Auf diese Weise werden Temperatureinflüsse vom Steuerkopf ferngehalten, und die zwischen den schraubbaren Teilen befindlichen Kunststoffdichtungen werden nicht zerstört. In dem Steuerkopf ist ein Quarzglasrohr befestigt, das in den angeschraubten Ofen hineinragt. Mittels zweier Mikrometerspindeln kann der Meßbereich von 200- bis 800fach verstellt werden. Am freien Ende ist das Quarzglasrohr derart gestaltet, daß es den Probekörper aufnehmen kann. Im Innern des Rohres liegt ein Quarzglasstab, der an der Probe anliegt. Eine Längenänderung der Probe bewirkt eine Bewegung zwischen dem Stab und dem fest angebrachten Rohr. Diese Bewegung wird über zwei Stützen auf ein beweglich angebrachtes Steuerprisma übertragen. Während der Messung fällt ein justierter Lichtstrahl auf das Prisma und dient als Zeiger, der auf dem am linken Ende des gesamten Gerätes in der Kamera ange-

brachten Photopapier registriert wird. Die Bewegung des Steuerprismas bewirkt die Bewegung des Lichtpunktes in Richtung der Ordinate. Die Auslenkung des Lichtzeigers in der Abszisse übernimmt ein Spiegelgalvanometer, das von einem neben dem Probekörper im Ofen befindlichen Thermoelement gesteuert wird. Gleichzeitig mit der Steuerung des Lichtzeigers kann die Ofentemperatur während des Versuches abgelesen werden. Der Lichtzeiger wird von einer Lampe erzeugt, die durch einen im Gerätefuß eingebauten Regeltransformator gespeist wird. Die Stromstärke betrug bei allen Messungen 2,5 Ampère. Zu dem ganzen Gerät gehört noch ein Regeltransformator für den Ofen, der bei allen Messungen 7,5 Ampère abgab. Die auf diese Weise erzeugte Erhitzung des Ofens benötigte folgende Zeit:

° C	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Zeit (min)	4,5	8	12	16	21	27	34	44	60

Die Versuchszeit einer Probe betrug 60 Minuten. Die im voraus geplante Maximaltemperatur von 900 ° C war auch gleichzeitig die obere Leistungsgrenze des Ofens. Als Fotopapier wurde für alle Versuche weißes Hochglanzpapier mit der Empfindlichkeit "hart" verwendet.

Vor Versuchsbeginn muß erst in einem Leerversuch das Gerät geeicht werden. Dazu wurde der Ofen aufgeheizt und der Lichtzeiger alle 100°C eingestellt. Es ergeben sich somit auf dem Fotopapier die Abstände der Abszisse, die jeweils 100°C entsprechen. Im gleichen Versuch wurden auf der Ordinate diejenigen Punkte markiert, die einer bestimmten Ausdehnung entsprechen. Sie konnte mittels einer Rändelschraube am Steuerknopf eingestellt werden und betrug je Teilstrich $1/100\text{ mm}$. Die Vergrößerung des Gerätes war vorher auf 200fach eingestellt worden. Nach dem Entwickeln des Papiers konnte aus durchsichtigem Papier ein Meßgitter hergestellt werden, mit dem die Kurven später ausgewertet wurden. Dazu mußte aber zusätzlich vor jedem Versuch der O-Punkt des Koordinatensystems sowie je ein Punkt auf der Abszisse und auf der Ordinate mit dem Lichtzeiger markiert werden.

Die Abmessungen des Probekörpers sind durch die Konstruktion des Gerätes vorgeschrieben. Sie betrugen 20 mm Länge und 3 mm Dicke. Diese Abmessung machte die Herstellung der Probekörper mittels geteilter Messingformen unmöglich, da die Proben beim Auseinandernehmen der Formen immer

wieder zerbrechen. Deshalb wurde bei der Versuchskörperherstellung folgendermaßen vorgegangen: Die nach den Vorschriften der Hersteller angerührte Masse wurde mittels einer Einwegspritze von 10 ccm in einen Plastikschlauch gespritzt, dessen lichte Weite 3 mm betrug. Der Schlauch war vorher auf einer Unterlage befestigt worden, damit er sich nicht verformen konnte, bevor die Masse erhärtet war. Nach dem völligen Aushärten der Masse wurde der Schlauch aufgeschnitten, und der entstandene Stab wurde anschließend in 2 cm lange Stücke zersägt. Die Länge wurde mit einer Schublehre kontrolliert. Um einen einheitlichen Trockengrad aller Proben zu erreichen, wurden sie vor Versuchsbeginn zwei Stunden lang auf 50 ° C erhitzt und anschließend in einem Exsiccator aufbewahrt, der Kieselgel enthielt.

Da die Hersteller der untersuchten Materialien in den Aufschriften der Packungen die Möglichkeit angaben, durch verschiedene hohe Konzentration der mitgelieferten Lösung die thermische Expansion steuern zu können, wurde die Versuchsreihe für die thermische Expansion erweitert. Von den 3 Massen wurden folgende Zusammenstellungen gemessen:

Masse	Konzentration der Flüssigkeit		
Aurovest	50 %	75 %	100 %
Deguvest HFG	50 %	75 %	100 %
Ceramigold	50 %	75 %	100 %

Als Normalkonzentration werden von den drei Firmen folgende Konzentrationen angegeben:

Aurovest	50 %
Deguvest	75 %
Ceramigold	100 %

Bei allen Versuchsreihen wurde die Pulvermenge ebenfalls mit der Briefwaage ausgewogen. Ebenso wurden die verschiedenen Verdünnungen mit dem vorher erwähnten Standglas hergestellt, welches auf 0,5 ccm genau ablesbar war. Mit dem gleichen Gefäß wurden auch die verschiedenen Mengen der benötigten Gebrauchslösung bestimmt. Zur Verdünnung wurde destilliertes Wasser benutzt. Von jeder Masse und jeder Konzentration wurden jeweils 3 Versuchskörper gemessen.

III. Statistische Auswertung der Meßwerte

Es war Ziel der statistischen Auswertung, die aus den Messungen errechneten Mittelwerte im Zusammenhang mit den gefundenen Streuungen zu untersuchen und auf dem Wege der Prüfung statistischer Hypothesen zu Sachausagen zu kommen. Das Vorgehen war dabei so, daß die Meßergebnisse beider Versuchsreihen zunächst jeweils einer Varianzanalyse unterzogen wurden. Daran schloß sich bei der thermischen Expansion die Berechnung von Konfidenzintervallen für die benötigten Mittelwertkontraste nach dem Tukey-Verfahren an. Die Meßergebnisse für die Abbindeexpansion wurden mit Hilfe einer Varianzanalyse ausgewertet.

Bezüglich der Einzelheiten der benutzten statistischen Verfahren sei auf die Fachliteratur verwiesen (40). Hier sollen nur einige Anmerkungen gemacht werden, die das Verständnis der Ergebnistabellen erleichtern. Die Varianzanalyse eliminiert aus der Gesamtstreuung der Meßergebnisse die Streuungen einzelner Einflußgrößen (Faktoren) sowie deren gegenseitige Beeinflussung (Wechselwirkung) und beurteilt diese unabhängig voneinander.

In der ersten Spalte der Varianzanalysentabelle werden diese Faktoren und Wechselwirkungen aufgeführt. Die zweite Spalte (Summe der Abweichungsquadrate = SAQ) enthält die entsprechenden Anteile an der Gesamtstreuung. Die Division der SAQ durch die sog. Freiheitsgrade (FG, dritte Spalte) führt zu den Mittleren Abweichungsquadraten (MAQ, Spalte %), die das eigentliche Streuungsmaß darstellen. Im F-Test (Spalte 5 und 6) wird geprüft, ob dieser Streuungsanteil wesentlich größer ist als nach der Versuchsstreuung zu erwarten. Die Beurteilung der errechneten F-Werte erfolgt nach Festsetzung einer geeigneten Irrtumswahrscheinlichkeit p durch Vergleich mit den tabulierten Werten der F-Verteilung. Ist der berechnete Wert größer als der Tabellen-F-Wert für $p = 0,01$, so spricht man von einem signifikanten Ergebnis. Die Annahme, daß zwischen den einzelnen Stufen eines Faktors oder einer Wechselwirkung keine wesentlichen Unterschiede bestehen (sog. Nullhypothese), kann dann nicht aufrecht erhalten werden. Wird jedoch nur der kleinere Tabellenwert für $p = 0,05$ überschritten, so spricht man von statistisch auffälligem Ergebnis.

Tabelle 1

Abbindeexpansion und Temperatur von Deguvest HFG

Vers. I		Vers. II		Vers. III		Vers. IV		Vers. V		Z
A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	
0	22	0	24	0	24	0	24	0	24	3
0	22	0	26	0	24	0	26	0	26	4
0	22	2	30	1	26	1	28	1	30	5
2	24	3	32	1	28	2	32	5	32	6
11	30	10	34	3	32	9	36	14	34	7
22	36	21	38	18	34	20	40	24	38	8
35	40	35	44	33	36	34	44	36	42	9
53	44	53	46	48	40	50	46	54	48	10
74	48	74	50	70	44	68	48	70	54	11
100	54	100	52	95	48	96	52	96	56	12
127	62	116	54	111	52	124	54	112	60	13
134	66	121	58	118	62	128	56	124	60	14
135	66	125	62	120	62	130	60	126	60	15
137	64	125	62	120,5	62	132	60	126	60	16
137	62	126	60	121	60	132	60	128	56	17
137	60	126	58	121	58	132	58	128	56	18
137	56	127	54	121	56	132	58	128	54	19
137	54	127	52	121	54	132	56	128	52	20
137	52	127	52	121	52	132	54	128	50	21
137	50	127	50	121	50	132	52	128	48	22
137	46	127	48	121	48	131	50	127,5	46	23
136	46	127	46	121	46	131	48	127,5	44	24
136	44	127	44	121	44	130,5	46	127	42	25
135,5	42	127	42	120,5	40	130,5	44	127	36	30
135,5	40	126,5	38	120,5	38	130,5	40	127	32	35
135	36	126,5	34	120	34	130,5	38	126	30	40
135	32	126	32	119,5	32	130	36	126	26	45
135	30	126	30	119	30	130	32	126	24	50
135	28	126	28	118	28	130	30	125	24	55
135	28	126	28	118	26	130	28	125	24	60

A = Ausdehnung in 1/100 mm

T = Temperatur in ° C

Z = Meßzeitpunkt nach Versuchsbeginn in (min)

Tabelle 2

Abbindeexpansion und Temperatur von Aurovest

Vers. I		Vers. II		Vers. III		Vers. IV		Vers. V		Z
A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	
0,5	24	0,5	24	0,5	24	0	24	0,5	28	3
1	24	0,5	28	0,5	30	0,5	26	1	30	4
2	42	1	42	1	34	1	30	2	34	5
25	50	2,5	48	2	40	2	34	14	40	6
32	58	16	56	14	46	13	36	26	48	7
33,5	64	31	60	24	50	23	42	30	52	8
34	64	32	60	28	54	27	50	30,5	57	9
34,5	60	32,5	60	28,5	54	27,5	60	31	57	10
34,5	56	32,5	60	29	52	28	60	31	56	11
34	54	32,5	56	29,5	50	28,5	60	31	56	12
34	52	32,5	54	29,5	48	28,5	58	30,5	54	13
33,5	50	32	52	29,5	46	28,5	56	30,5	52	14
33,5	48	32	50	29,5	44	28	54	30,5	50	15
33,5	46	31,5	48	29	42	28	52	30	48	16
33,5	45	31,5	46	29	40	28	50	30	46	17
33	44	31,5	44	29	38	27,5	48	30	44	18
33	42	31,5	42	28,5	36	27,5	46	30	42	19
33	40	31,5	40	28,5	34	27,5	44	29,5	40	20
33	36	31	36	28	32	27,5	40	29,5	38	21
32,5	34	31	34	28	30	27,5	38	29,5	36	22
32,5	32	31	32	27,5	28	27	36	29,5	34	23
32,5	30	30,5	30	27,5	26	27	34	29,5	32	24
32,5	28	30,5	28	27,5	24	27	32	29	30	25
32	26	30,5	26	27	22	26,5	30	29	28	30
32	24	30	24	27	22	26,5	28	29	26	35
31,5	24	30	22	27	22	26,5	26	28	24	40
31	22	29,5	22	26,5	22	26	24	28	22	45
31	22	29,5	22	26,5	22	26	22	28	22	50
31	22	29,5	22	26,5	22	25,5	22	27,5	22	55
31	22	29,5	22	26,5	22	25,5	22	27,5	22	60

A = Ausdehnung in 1/100 mm

T = Temperatur in ° C

Z = Meßzeitpunkt nach Versuchsbeginn in (min)

Tabelle 3

Abbindeexpansion und Temperatur von Ceramigold Investment

Vers. I		Vers. II		Vers. III		Vers. IV		Vers. V		Z
A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	
0	22	0	22	0	22	0	22	0	22	3
0	24	0	24	0	24	0	24	0	24	4
0,5	28	1	28	1	26	0	26	1	28	5
10	30	16	32	12	28	2	32	12	32	6
34	32	40	34	36	32	14	34	36	34	7
54	35	62	36	58	34	36	36	60	40	8
76	38	90	40	82	38	60	38	88	44	9
90	42	110	42	94	42	85	42	106	48	10
124	46	144	44	136	46	98	44	140	50	11
189	50	162	52	198	52	132	52	158	54	12
210	53	208	56	219	56	171	52	212	56	13
224	55	232	62	232	60	209	54	230	64	14
236	60	254	62	238	65	228	56	256	64	15
248	60	263	62	252	66	242	62	266	64	16
256	60	278	62	258	64	256	62	282	62	17
260	54	288	54	264	58	262	62	291	56	18
264	52	292	52	269	56	271	56	301	54	19
269	50	296	51	274	54	275	54	307	56	20
274	49	300	48	278	52	280	52	311	50	21
278	48	304	46	283	50	284	50	316	49	22
282	47	308	47	289	48	290	48	320	48	23
286	46	312	44	292	45	295	46	325	47	24
290	40	315	42	294	44	300	42	328	46	25
294	36	319	38	298	42	304	42	332	44	30
298	34	324	34	301	40	308	40	336	40	35
300	30	326	32	302	36	312	38	338	36	40
302	28	330	30	304	34	315	34	340	34	45
302	27	330	29	305	32	318	32	340	32	50
302	26	330	28	306	28	318	28	340	28	55
302	26	330	26	306	26	318	26	340	26	60

A = Ausdehnung in 1/100 mm

T = Temperatur in °C

Z = Meßzeitpunkt nach Versuchsbeginn in (min)

Tabelle 4

Mittelwerte von Ausdehnung und Temperatur

Zeit nach Meßbeginn min	DEGUVEST HFG		AUROVEST		CERAMIGOLD	
	Ausd. 1/100 mm	Temp. ° C	Ausd. 1/100 mm	Temp. ° C	Ausd. 1/100 mm	Temp. ° C
3	0	23,6	0,4	24,0	0	22,0
4	0	24,8	0,7	28,4	0	24,0
5	1	27,2	1,4	36,4	0,7	27,2
6	2,6	29,6	9,1	42,4	10,4	30,8
7	9,4	33,2	20,2	48,8	32,0	32,8
8	21,0	37,2	28,3	53,6	54,0	36,2
9	34,6	42,2	30,3	57,0	79,2	39,6
10	51,6	45,4	30,8	58,2	97,0	43,2
11	71,2	48,8	31,0	56,8	128,4	46,2
12	97,4	52,4	31,1	55,2	167,8	51,6
13	118,4	56,4	31,0	53,2	204,0	54,6
14	125,0	60,4	30,8	50,8	225,6	57,4
15	127,2	62,0	30,7	49,2	242,4	59,0
16	128,1	61,6	30,4	47,2	254,2	59,6
17	128,8	59,6	30,4	45,4	266,0	58,8
18	128,8	58,0	30,2	43,6	273,0	56,8
19	129,0	54,8	30,1	41,6	279,4	54,6
20	129,0	53,6	30,0	39,6	282,2	52,6
21	129,0	52,0	29,8	36,4	288,6	50,4
22	129,0	50,0	29,7	34,4	293,0	48,6
23	128,7	47,6	29,5	32,4	297,8	47,2
24	128,5	46,0	29,4	30,8	302,0	45,6
25	128,3	44,0	29,3	28,4	305,4	43,2
30	128,1	40,8	29,0	26,4	309,4	40,9
35	128,0	37,6	28,9	24,8	313,4	37,6
40	127,6	34,4	28,6	23,6	315,6	34,4
45	127,3	31,6	28,2	22,4	318,2	32,0
50	127,2	29,2	28,2	22,0	319,0	30,0
55	126,8	27,6	28,0	22,0	319,2	27,6
60	126,8	26,8	28,0	22,0	319,2	26,0

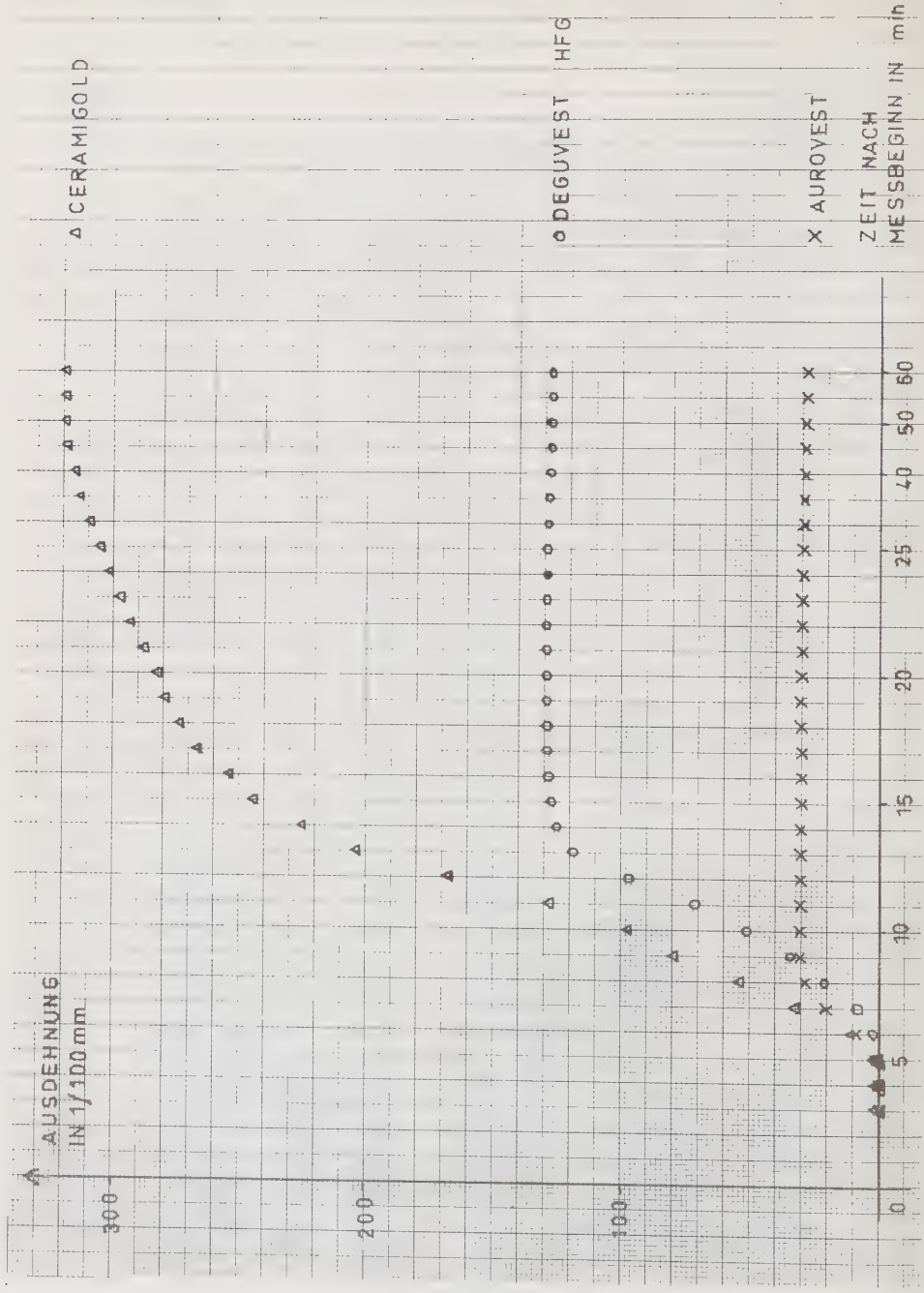


ABB. 6

Graphische Darstellung der Ergebnisse der Abbindeexpansion

Tabelle 5 Varianzanalysentabelle der Abbindeexpansion

Faktoren		S A Q	FG	M A Q	F-Wert	
Zeitpunkte	1	1483097,9244	29	51141,3077	1398	++
Einbettmassen	2	2598534,9344	2	1299267,4672	937	++
Körper	3	16639,9233	12	1386,6603	37,9	++
Zeitp./Masse	4	929546,1990	58	16023,2103	438	++
Rest	5	12731,2766	348	36,5841		

Beurteilung: + auffällig ($p = 0,05$)
 ++ signifikant ($p = 0,01$)

Tabelle 6 Varianzanalysentabelle der thermischen
Expansion

Faktoren		S A Q	FG	M A Q	F-Wert	
Einbettmassen	1	9616,6667	2	4808,3333	305	++
Konzentrationen	2	6272,2222	2	3136,1111	199	++
Masse/Konzentr.	3	3427,7778	4	856,9444	54	++
Rest	4	283,3333	18	15,7407		

Beurteilung: + auffällig ($p = 0,05$)
 ++ signifikant ($p = 0,01$)

1. Abbindeexpansion

Aus der ersten Zeile der Varianzanalysetabelle (Tab. 5) ist zu ersehen, daß die Ausdehnung der Prüfkörper sich im Verlauf der Versuchsdauer statistisch signifikant geändert hat. Zeile 2 zeigt, daß bei den drei Einbettmassen im Mittel unterschiedliche Ausdehnungswerte erreicht wurden. Aus Zeile 4 ergibt sich, daß der zeitliche Verlauf der Ausdehnung bei den drei Massen unterschiedlich erfolgte. Da detaillierte Angaben über die Differenzen der Mittelwerte der Versuchsreihe nicht benötigt werden, wurde hier auf weitergehende statistische Prüfung verzichtet (Tukey-Test). Daß sich die Endwerte aller drei Massen deutlich voneinander unterscheiden, geht hinreichend klar aus der Abbildung 6 hervor.

Es läßt sich hieraus ersehen, daß bei allen drei Einbettmassen die Ausdehnung schon zu Beginn des Versuches stattfindet und zum größten Teil bereits nach einem Drittel der Versuchsdauer abgeschlossen ist. Auffallend ist dabei die starke Abweichung des Maximalwertes. Hierbei zeigt sich, daß Ceramigold die größte Expansion aufweist und Aurovest die

geringste. Ungefähr in der Mitte zwischen beiden Werten liegt die Expansion von Deguvest. Die im Vergleich sehr niedrige Abbindeexpansion von Aurovest hat bereits 1958 DREYER-JÖRGENSEN (5) im Vergleich mit gipsgebundenen Einbettmassen festgestellt.

Aus Zeile 3 der Varianzanalysetabelle ist zu ersehen, daß die Prüfkörper der jeweils gleichen Einbettmasse statistisch gesicherte Unterschiede aufzeigen. Dies bedeutet in der Praxis, daß die durch die rel. Ungenauigkeit beim Herstellen der Proben bewirkte Streuung außerhalb des statistischen Zufallsbereichs liegt. Die Fehlerquellen des Anrührverfahrens (Abwiegen der Pulvermenge, Ausmessen der Flüssigkeit, Anspateldauer und -geschwindigkeit, Einbringen in die Versuchsanordnung) sind offensichtlich so zahlreich, daß ein reproduzierbares Ergebnis nicht erreichbar erscheint. Zeile 5 enthält die Reststreuung, die man als Meßfehler ansehen kann. Dieser Meßfehler setzt sich aus der Meßungenauigkeit des Gerätes und den Ablesefehlern zusammen. Er ist gegenüber der Wirkung der anderen Einflußgrößen auf die Meßwerte vergleichsweise klein.

KONZ. 50 %

°C	I	II	III	[mm]
100	0,01	0,015	0,01	
200	0,04	0,035	0,035	
300	0,07	0,07	0,07	
400	0,09	0,085	0,09	
500	0,125	0,12	0,125	
600	0,195	0,19	0,195	
700	0,19	0,19	0,19	
800	0,19	0,19	0,19	
900	0,19	0,19	0,19	

TABELLE 7

DEGUVEST HFG

PRÜFKÖRPERLÄNGE

20 mm

KONZ. 75 %

°C	I	II	III	[mm]
100	0,01	0,015	0,015	
200	0,04	0,04	0,04	
300	0,09	0,085	0,085	
400	0,11	0,105	0,11	
500	0,145	0,135	0,145	
600	0,215	0,21	0,225	
700	0,215	0,21	0,225	
800	0,215	0,21	0,225	
900	0,215	0,21	0,225	

KONZ. 100 %

°C	I	II	III	[mm]
100	0,02	0,02	0,015	
200	0,05	0,055	0,045	
300	0,09	0,09	0,08	
400	0,115	0,12	0,115	
500	0,16	0,155	0,15	
600	0,23	0,23	0,22	
700	0,225	0,23	0,22	
800	0,225	0,23	0,22	
900	0,225	0,23	0,22	

KONZ. 50 %

°C	I	II	III	[mm]
100	0,01	0,01	0,005	
200	0,0	0,005	0,0	
300	0,065	0,065	0,06	
400	0,09	0,095	0,09	
500	0,13	0,13	0,13	
600	0,21	0,215	0,205	
700	0,21	0,215	0,205	
800	0,21	0,215	0,205	
900	0,21	0,215	0,205	

TABELLE 8

AUROVEST

PRÜFKÖRPERLÄNGE

20 mm

KONZ. 75 %

°C	I	II	III	[mm]
100	0,01	0,01	0,01	
200	0,015	0,015	0,01	
300	0,085	0,085	0,085	
400	0,115	0,115	0,115	
500	0,15	0,155	0,15	
600	0,235	0,24	0,235	
700	0,235	0,24	0,235	
800	0,235	0,24	0,235	
900	0,235	0,24	0,235	

KONZ. 100 %

°C	I	II	III	[mm]
100	0,02	0,02	0,02	
200	0,04	0,035	0,035	
300	0,14	0,135	0,14	
400	0,16	0,165	0,165	
500	0,20	0,20	0,20	
600	0,285	0,285	0,285	
700	0,285	0,285	0,285	
800	0,28	0,28	0,285	
900	0,28	0,28	0,28	

KONZ. 50%

°C	I	II	III	mm
100	0,01	0,015	0,01	
200	0,03	0,045	0,035	
300	0,07	0,07	0,07	
400	0,09	0,085	0,08	
500	0,12	0,115	0,12	
600	0,19	0,19	0,195	
700	0,195	0,195	0,20	
800	0,195	0,195	0,20	
900	0,195	0,195	0,20	

KONZ. 75 %

°C	I	II	III	mm
100	0,015	0,01	0,01	
200	0,045	0,03	0,035	
300	0,07	0,075	0,075	
400	0,08	0,09	0,085	
500	0,115	0,12	0,125	
600	0,19	0,195	0,19	
700	0,19	0,19	0,19	
800	0,19	0,195	0,19	
900	0,19	0,19	0,195	

TABELLE 9

CERAMIGOLD

PRÜFKÖRPERLÄNGE

20 mm

KONZ. 100%

°C	I	II	III	
100	0,01	0,01	0,01	
200	0,04	0,03	0,035	
300	0,075	0,07	0,075	
400	0,10	0,10	0,095	
500	0,135	0,135	0,13	
600	0,205	0,21	0,205	
700	0,205	0,205	0,205	
800	0,205	0,205	0,20	
900	0,205	0,205	0,20	

	50 %	75 %	100 %
DEGUVEST HFG	0,19	0,2167	0,225
AUROVEST	0,21	0,2367	0,28
CERAMIGOLD	0,1967	0,1917	0,2033

TAB.10: Thermische Expansion in [mm]. Versuchskörperlänge 20mm
Mittelwerte aus je drei Messungen.

	50 %	75 %	100%
DEGUVEST HFG	0,95	1,09	1,12
AUROVEST	1,05	1,19	1,40
CERAMIGOLD	0,99	0,96	1,02

TAB.11 : Thermische Expansion in % lin.

Mittelwerte aus je drei Messungen



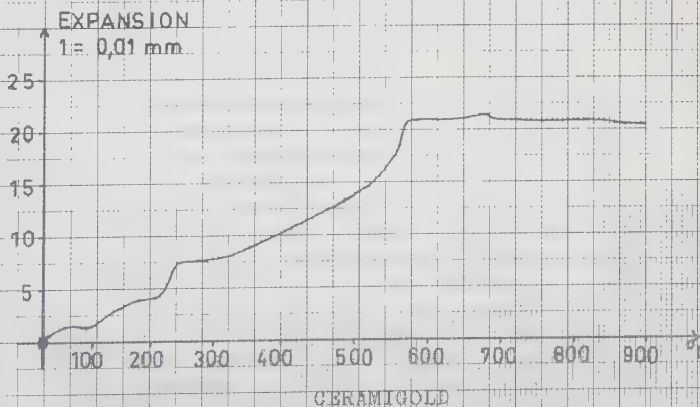
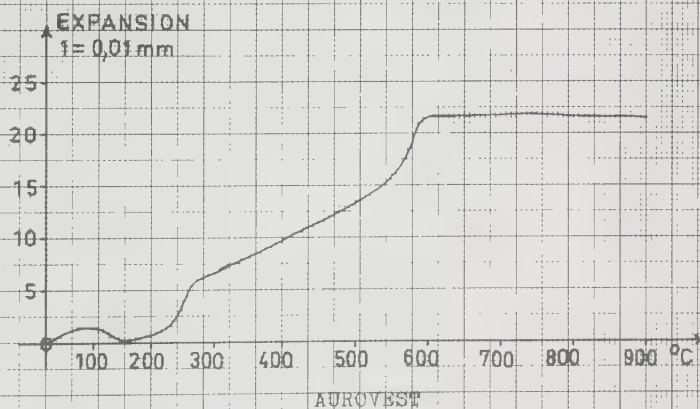
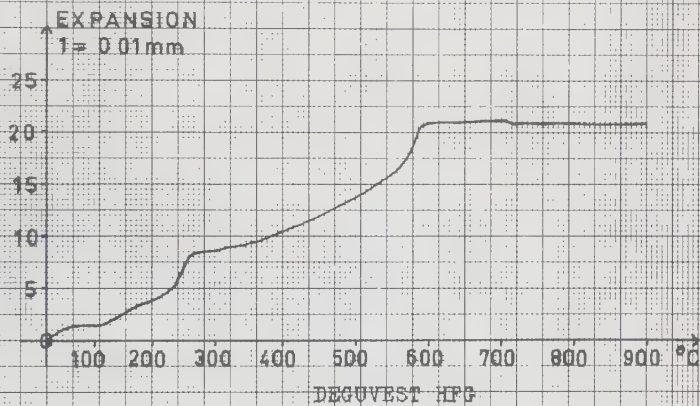
DEGUVEST HFG



AUROVEST



ABB: 7 a Meßkurven im Koordinatensystem



THERMISCHE
EXPANSION

[mm] ↑

0,30

0,25

0,20

0,15

50%

75%

100%

KONZENTRATION

* AUROVEST

○ DEGUVEST

△ ACERAMIGOLD

○ WERTE FÜR DIE VON DEN FIRMEN

ANGEGEBENEN KONZENTRATIONEN

ABBI 8. Thermische Expansion in Abhängigkeit von der Konzentration der mitgelieferten Flüssigkeiten (dargestellt mit den 900 °C Messwerten)

Tabelle 12

" T U K E Y T E S T "

[illegible]

2. Thermische Expansion

Zeile 1 der Varianzanalysetabelle (Tab. 6) zeigt auch hier, daß Unterschiede zwischen den drei Einbettmassen bestehen. Zeile 2: Bei den verschiedenen Konzentrationen wurden im Mittel unterschiedliche Werte für die thermische Expansion gemessen. Zeile 3: Die Konzentrationsunterschiede innerhalb der drei Einbettmassen können in ihrem Ergebnis nicht als gleichartig angesehen werden. Zum Beispiel steigt die thermische Expansion bei Aurovest von 50° bis 100 ° stärker an als bei den beiden anderen Massen.

Hat der F-Wert ergeben, daß zwischen bestimmten Mittelwerten (den Stufen eines Faktors oder einer Wechselwirkung) signifikante Unterschiede bestehen, so gilt diese Aussage zusammenfassend für alle diese Mittelwerte. Es kann nicht ohne weiteres gefolgert werden, daß zwei bestimmte Mittelwerte sich unterscheiden. Sollen bestimmte Mittelwertsdifferenzen beurteilt werden, so kann das mit Hilfe von Konfidenzintervallen geschehen.

Die hier benutzten von TUKEY angegebenen Konfidenzintervalle haben die Form:

$$\hat{L} - \sqrt{\frac{MAQN}{r}} q_{1-p/k/f} \leq L \leq \hat{L} + \sqrt{\frac{MAQN}{r}} q_{1-p/k/f}$$

$\hat{L}$ der zu beurteilende Mittelwertskontrast
der Stichprobe

L der entsprechende Kontrast der Grund-
gesamtheit

$\frac{MAQ_N}{r}$ Varianz des Kontrastes
 MAQ_N ist das aus der Varianzanalysen-
tabelle entnommene MAQ für den Nenner
im F-Test.
 r Anzahl der jedem Mittelwert zugrunde
liegenden Einzelmessungen

$q_{1-p/k/f}$ obere Signifikanzschranke des studentii-
sierten Extrembereiches
 $1-p$ Sicherheitswahrscheinlichkeit
 k Anzahl der Mittelwerte
 f Anzahl der Freiheitsgrade von MAQ_N

Eine Mittelwertsdifferenz $\hat{L}$ ist dann signifikant
von 0 verschieden, wenn sie größer ist als der
Ausdruck

$$\frac{MAQ_N}{r} \leq q_{1-p/k/f}$$

Zur weiteren Klärung der Mittelwertsunterschiede wurden - wie oben geschrieben - die Konfidenzintervalle nach TUKEY berechnet (Tab. 12). Für die 9 möglichen Kombinationen aus den drei Einbettmassen und den drei Konzentrationen wurden alle möglichen Differenzen von je zwei Mittelwerten in der Tabelle zusammengefaßt. Die stärker gezeichnete Treppelinie in dieser Vergleichsmatrix trennt die signifikanten Mittelwertsdifferenzen (oberhalb) von denen, die im Zufallsbereich liegen (unterhalb). Folgende Schlußfolgerungen aus den hier dargestellten Ergebnissen sind von besonderem Interesse:

Wie ändert sich bei der gleichen Einbettmasse und zunehmender Konzentration die Expansion? Bei Ceramigold hat die Veränderung der Konzentration der Flüssigkeit keinen gesicherten Einfluß auf die thermische Expansion. Bei Deguvest HFG erfolgt von 50 % auf 75 % eine Erhöhung der Expansion. Eine weitere Zunahme der Expansion bei Erhöhung der Konzentration auf 100 % läßt sich statistisch nicht sichern. Bei der Einbettmasse Aurovest wird von einer Konzentrationsstufe zur anderen jeweils eine deutliche Zunahme der thermischen Expansion nachweisbar. Vergleicht man die empfohlene Konzentration der ein-

zelnen Firmen für ihre Einbettmassen, so ergibt sich folgendes: Die Mittelwerte für Aurovest 50 %ig, Deguvest 75 %ig und Ceramigold 100 %ig unterscheiden sich nur geringfügig und liegen innerhalb des statistischen Zufallbereiches.

Zur Abbildung 7 ist noch folgendes festzustellen: Der Kurvenverlauf während der Aufheizphase hatte bei allen drei Einbettmassen den gleichen Charakter. Die Veränderung der Konzentration der Anrührflüssigkeit hatte nur in der Höhe der Endexpansion einen Einfluß. Aus diesem Grunde wurde auch darauf verzichtet, alle gewonnenen Kurven darzustellen.

Weiterhin muß noch gesagt werden, daß alle drei Einbettmassen ohne Rücksicht auf die Konzentration der Anrührflüssigkeiten ihre maximale Expansion zwischen 550°C und 600°C erreicht haben. Bei zunehmender Temperatur ist die Expansion in allen Versuchen bis zur Endtemperatur von 900°C etwa gleich geblieben.

IV. Zusammenfassung

1. Es wurde die Größe der Abbindeexpansion einiger gipsfreier Einbettmassen gemessen, wie sie zum Gießen hochschmelzender Dental-Edelmetalllegierungen verwendet werden. Untersucht wurden die drei Einbettmassen: Deguvest HFG, Aurovest und Ceramigold Investment.

Ergebnis

Die drei Massen zeigten deutliche Unterschiede in der Größe ihrer Abbindeexpansion. Den geringsten Wert ergab Aurovest. Die Abbindeexpansion von Deguvest war etwa viermal so groß, die von Ceramigold betrug etwa das Zehnfache.

2. Weiterhin wurde von den drei gleichen Massen auch die thermische Expansion bestimmt. Hierzu wurde ein Anlegedilatometer benutzt. Zur Aufzeichnung wurde ein Lichtstrahl verwendet, dessen Bewegung mit Fotopapier registriert wurde. Dabei wurde auch die Konzentration der mitgelieferten Flüssigkeiten verändert (50 % - 75 % - 100 %). Es ergaben sich neun Kombinationen (3 Massen - je 3 Konzentrationen). Die Expansion wurde jeweils zwischen Zimmertemperatur und 900 ° C aufgezeichnet.

Ergebnis

Von den drei Einbettmassen zeigte Ceramigold die geringste, Aurovest die größte thermische Expansion. Etwa in der Mitte lag die Ausdehnung von Deguvest HFG.

Außer Ceramigold zeigen die Einbettmassen bei den verschiedenen Konzentrationen eine statistisch gesicherte Zunahme der Expansion; am deutlichsten stellte es sich bei Aurovest heraus. Beim Vergleich derjenigen Expansion, die mit den Flüssigkeitskonzentrationen erzielt wurden, die die Firmen angeben, zeigt sich folgendes: Die Unterschiede sind statistisch nicht gesichert, d. h. die Expansionen sind in der Praxis gleich.

V. Literaturverzeichnis

- (1) Beeck, K.H. Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gußverfahren und ihre praktische Auswertung.
Dtsch.zahnärztl.Z. 13, 470 (1958)
- (2) Bonsack, Ch. Der heutige Stand des Gußproblems.
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 5 u. 67 (1953)
- (3) Cosmann, M. u. O. Zum Problem der Gußeinbettungsmassen.
Dtsch.Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 2, 386 u. 778 (1935)
- (4) Cosmann, M. Ergänzungen zur Aufzeichnung der thermischen Expansion von Gußeinbettungsmassen aus Kieselerde und Gips.
Dtsch.zahnärztl.Wschr. 37, 265 (1934)
- (5) Dreyer-Jørgensen, K. Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gußverfahren.
Dtsch.zahnärztl.Z. 13, 461 (1958)
- (6) Eichner, K. Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihre Verarbeitung.
Berlin 1960
- (7) Endell, K. u. U. Hofmann Über vergleichende röntgenoptische und dilatometrische Untersuchungen an Einbettungsmassen.
Zahnärztl.Rsch. 43, 1478 (1934)

- (15) Han, D. S. Experimentelle Untersuchungen zur weiteren Klärung des Gußproblems.
Dtsch. Mschr. Zahnheilk.
48, 529 (1930)
- (16) Hering, H. Aus Eichner, K. (6)
- (17) Ilg, V. K. Die keramische Stiftkrone.
Zahnärztl. Wschr. 32, 729 (1937)
- (18) Ilg, V. K. Untersuchungen zur indirekten Technik.
Teil I: Gedanken zur "indirekte Technik".
Dtsch. zahnärztl. Z.
14, 1305 (1959)
Teil II: Modellmaterialgeformt, Präparation: positiv.
Dtsch. zahnärztl. Z.
12, 1140 (1961)
- (19) Jung, F. Studien über Einbettmassen und ihren Einfluß auf die Oberflächengestaltung von Gußarbeiten.
Dtsch. zahnärztl. Wschr.
29, 121 (1926)
- (20) Lyon, H. W. u. Mitarbeiter The Mechanism of hygroscopic Expansion in Dental Casting Investment.
I. dent. Res. 34, 44 (1955)
- (21) Marx, H. Über den Einfluß des Gußverfahrens auf die Poren- und Lunkerbildung.
Dtsch. zahnärztl. Z.
22, 1228 (1967)
- (22) Narcisse, M. A. Einbetten und Einbettmassen.
Zahntechnik 4, 254 (1951)

- (23) Ochmann, V. Praxiserfahrung mit dem neuen Modellierwerkstoff für Gußzwecke Palavit G. Zahnärztl.Welt, Ref.59, 519 (1958)
- (24) Oehrlein, A. Cristobalit - eine neue Einbettmasse Zahnärztl.Rsch. 42, 1227 (1933)
- (25) Oeschger, H. X. Vergleichende Untersuchungen über das Einbetten mit im Vakuum von Luftblasen befreiter Einbettmasse. Dtsch.Zahn-, Mund- u.Kieferheilk. 22, 208 (1955)
- (26) Oettinger, R. Expansionstechnik zum Ausgleich der Restkontraktion der Goldlegierungen beim Guß. Zahnärztl. Rundsch. 43, 101, (1934)
- (27) Rehberg, H. J. Zahnärztliche Wachse. Aus (6)
- (28) Reinmacher G. u. E. Wagner Die Schädigung weißer Edelmetall-Legierungen durch Schwefelaufnahme. Zahnärztl.Welt 9, 126 (1954)
- (29) Ritze, H. Grundsätzliches zum Einbett-Gußverfahren. Dtsch.zahnärztl.Z. 22, 1206 (1967)
- (30) Scheu, C. H. A New Precision Casting Technic. I. Amer. dent. Ass. 19, 630 (1932)

- (31) Scheu, C. H. Präzisionsguß unter Benutzung
der hygroskopischen Eigenschaft
des Gipses in der Einbettmasse
zur Herstellung expandierter
Formen.
Dtsch. zahnärztl. Wschr.
37, 493 (1934)
- (32) Staegemann, G. Schnellhärtende Kunststoffe
revolutionieren einige zahn-
ärztliche Gußverfahren.
Zahnärztl. Rundsch. 66, 264 (1957)
- (33) Schubert, L. Über Materialien.
Dtsch. zahnärztl. Wschr.
36, 79 (1933)
- (34) Schubert, L. u. Die Auswirkungen der Volumen-
K. Klode änderung einiger Einbettmassen
auf die Gußkonzentration des
Goldes auf Grund volumetrischer
Messungen.
Dtsch. zahnärztl. Wschr.
36, 750 (1933)
- (35) Sweeney, W. T. Cristobalit for Dental
Investments.
I. Amer. Dent. Ass.
20, 108 (1933)
- (36) Taege, F. Untersuchungen über thermische
und hygroskopische Expansion
von Einbettmassen.
Dtsch. Stomat. 5, 619 (1955)
- (37) Voss, R. Zu speziellen Fragen der
Gußtechnik.
Dtsch. zahnärztl. Z.
22, 1220 (1967)

- (38) Wagner, E. Die theoretischen Grundlagen
der Vita-VMK-Degudent-Technik.
Zahnärztl.Welt, Ref.66, 343 (1965)
- (39) Wagner, E. Beitrag zum Präzisionsver-
fahren.
Dtsch. zahnärztl. Z.
22, 1215 (1967)
- (40) Weber, E. Grundriß der biologischen
Statistik.
Anwendungen der mathematischen
Statistik in Naturwissenschaft
und Technik.
Kapitel 45 und 46, 6. Auflage
Stuttgart (1967)

Herrn Professor Dr. H. M a r x möchte ich
an dieser Stelle für die Überlassung des Themas
und seine jederzeit freundliche und hilfsbereite
Unterstützung herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt auch meinem hochver-
ehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. F. J u n g ,
der mir durch Überlassung des Arbeitsplatzes die
vorliegende Arbeit ermöglichte.

Herrn Dr. S c h e i d t , der mich bei der
statistischen Auswertung unterstützt hat, sage
ich ebenfalls meinen herzlichen Dank.

LEBENS LAUF

Am 8. Mai 1945 wurde ich als Sohn des späteren Zahnarztes Dr. med. dent. Hans Stegmayer und dessen Ehefrau Anneliese, geborene Haas, in Bad Kreuznach geboren. Ab 1951 besuchte ich die Volksschule und ab 1955 die humanistische Abteilung des Staatlichen Gymnasiums in Bad Kreuznach, wo ich 1964 die Reifeprüfung ablegte.

Im Sommersemester 1964 begann ich an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz mit dem Studium der Zahnheilkunde und legte dort nach dem Wintersemester 1966/67 die zahnärztliche Vorprüfung ab. An der gleichen Universität erhielt ich auch meine klinische Ausbildung. Mein Studium beendete ich am 10. Dezember 1969 mit der Ablegung des zahnärztlichen Staatsexamens.

